

# SIMULACIÓN DE PROCESOS DE UNA INDUSTRIA APÍCOLA <sup>1</sup>

## SIMULATION OF PROCESS OF APICULTURAL INDUSTRY

*FACUNDO MOLINA VUISTAZ <sup>2</sup>*  
*MARÍA ALEJANDRA CASTELLINI <sup>2,3</sup>*

Universidad Nacional de Salta, Salta - Argentina

### RESUMEN

Se efectúa la simulación del procesamiento de miel, en una planta de la región sur de la Provincia de Salta, Argentina, con el objetivo de minimizar los tiempos improductivos de los equipos y de mejorar la utilización de la mano de obra. Se analizan diversas instancias de complejidad creciente, partiendo de un conjunto de hipótesis generales para luego considerar aspectos que acerquen el modelo a la situación real, tales como el almacenamiento inicial para disminuir los tiempos de inactividad de los equipos, la incorporación de los recursos y finalmente la eliminación de almacenes artificiales y cambio de equipos que constituyen cuellos de botella. El análisis de los resultados en cada instancia permite el diseño de un sistema que mejore los parámetros de interés.

**Palabras clave:** alzas melarias, colmenas, hipótesis, miel, simulación.

### ABSTRACT.

The simulation of the processing of honey is realized in a plant of the South region of the Province of Salta, Argentina, with the objective to minimize the unproductive times of the equipment and to improve the use of the manual labor. Diverse instances of increasing complexity are analyzed, starting with a set of general hypotheses, soon to consider aspects that approach the model to the real situation, such as the initial storage to reduce the time of inactivity of the equipment, the incorporation of the resources and finally the elimination of artificial storages and change of equipment that constitute bottle necks. The analysis of the results in each instance allows designing a system that improves the parameters of interest.

**Key words:** honey raises, beehives, hypothesis, honey, simulation.

<sup>1</sup> Segundo Lugar Competencia de Simulación en el marco del 1<sup>er</sup>. Encuentro Latinoamericano de Académicos de Ingeniería Industrial (ELAIN) & XVI Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Industrial, Santa Cruz de la Sierra – Bolivia.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina

<sup>3</sup> Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Santiago del Estero 330, (4400) Salta, Argentina

e-mail: mac@unsa.edu.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

La apicultura es una actividad productiva con alto potencial en la región, tanto por la demanda externa e interna como por la riqueza forestal de la zona. El presente trabajo surge de la elaboración del proyecto de inversión apícola del alumno, requisito final para obtener el título de Ingeniero Industrial. El proyecto completo comprende los estudios de mercado, de localización, ingeniería de proyecto y factibilidad económica.

### Planta de Procesamiento de Miel

Se analiza el proceso de elaboración de miel de una planta que además produce cera, propóleos y polen.

La capacidad de producción de miel en la Provincia de Salta es del orden de 1.440 toneladas, equivalentes a 30000 colmenas, y el estudio de localización realizado propone la instalación de los apiarios y la planta en la ciudad de Joaquín V. González, en el departamento de Anta, zona sur de la Provincia. La forestación de la zona, permite estimar que la producción de miel será equivalente a 2858 colmenas. El rendimiento promedio de las colmenas es de 48 Kg./colmena, por lo que se tiene una producción total de aproximadamente 137 toneladas. Las colmenas contienen generalmente en épocas de producción de tres a cuatro alzas melarias, una de ellas destinada para la producción de las abejas y alimento de las mismas. Es una industria con demanda insatisfecha, por lo que se considera con posibilidades de expansión.

Por cuestiones estacionales, la producción se realiza durante tres meses, considerándose un promedio de 20 días hábiles por mes y una jornada de 8 horas diarias de lunes a viernes.

De acuerdo al estudio de logística se determina que son necesarias tres camionetas, que llegan a la planta una vez al día con una carga promedio de 48 alzas, transportándolas hacia el almacén de materia prima. Las alzas, formadas por ocho cuadros, contienen aproximadamente 16 Kg. de miel cada una.

Luego, como se observa en el diagrama de proceso, se llevan las alzas al desperculador (equipo E-1), donde se retiran los cuadros. Este equipo consta de cuchillas que cortan las celdas para retirar los opérculos de los cuadros, para facilitar la extracción de la miel.

Si bien para esta planta se requiere una capacidad máxima de 144 cuadros por hora ( $(48 \text{ alzas/día/camioneta} * 3 \text{ camionetas}) / (8 \text{ horas/día})$ ), la información obtenida a través del estudio de mercado indica que un desperculador automático tiene las siguientes características: velocidad mínima: 400 cuadros/hora, velocidad media: 820 cuadros/hora, velocidad máxima: 1.300 cuadros/hora; muy superiores a los requerimientos de la planta.

Estos opérculos, caen a la batea de desperculado (equipo E-2) que consiste en un recipiente de chapa de acero inoxidable, sobre la tela metálica que posee en su interior, a fin de escurrir la miel que llevan adherida. La batea requiere un espacio apropiado para que la miel que se encuentra entre los opérculos pueda fluir de la mejor forma para optimizar su extracción, por lo cual se propone la instalación de una batea de 1,5m de largo x 0,57m de ancho, acorde a la capacidad del desperculador.

Por medio de una canilla de corte rápido, es posible luego retirar la miel que se acumula, introduciéndola en el tanque receptor en forma manual.

A continuación los cuadros se colocan en tres equipos extractores (equipo E-3 A/B y E-4) para extraer la miel de los mismos. Estos extractores del tipo radial, (denominados así porque

los cuadros se ubican dentro del aparato formando rayos) se basan en la acción de la fuerza centrífuga y tienen una capacidad de 44 cuadros cada uno.

La miel se extrae de las dos caras del cuadro a la vez. Este proceso dura alrededor de 12 min., comienza a marcha lenta, aumentando en forma gradual mediante un dispositivo especial, hasta finalizar la extracción.

La miel extraída va a un receptor (Equipo E-5) que tiene un volumen de 700 litros, (aproximadamente 1000 kg.), con la siguiente dimensión 2m x 0,7m x 0,5m, que filtra con una malla fina de nylon que retiene las partículas de cera y cualquier cuerpo extraño. De este tanque receptor, en condiciones normales de operación, será utilizado las 3/4 partes de su capacidad. Su sobre dimensionamiento obedece a salvar posibles imprevistos (como ser fallas en la bomba), para no detener la extracción de miel.

Mediante una bomba a engranaje (Equipo E-8) que tiene una capacidad de 4000kg/hr, se conduce la miel filtrada al homogeneizador (Equipo E-9). La capacidad de la bomba obedece a una estrategia de producción ya que el ciclo del extractor es de 1 hr y se requieren 3 días para el llenado del homogeneizador (Equipo E-9). Debido a las exigencias del mercado externo la miel homogenizada debe ser de lotes no menores de 6000 Kg, por lo que esa es la capacidad del homogeneizador con un rendimiento de 1200 Kg/hr.

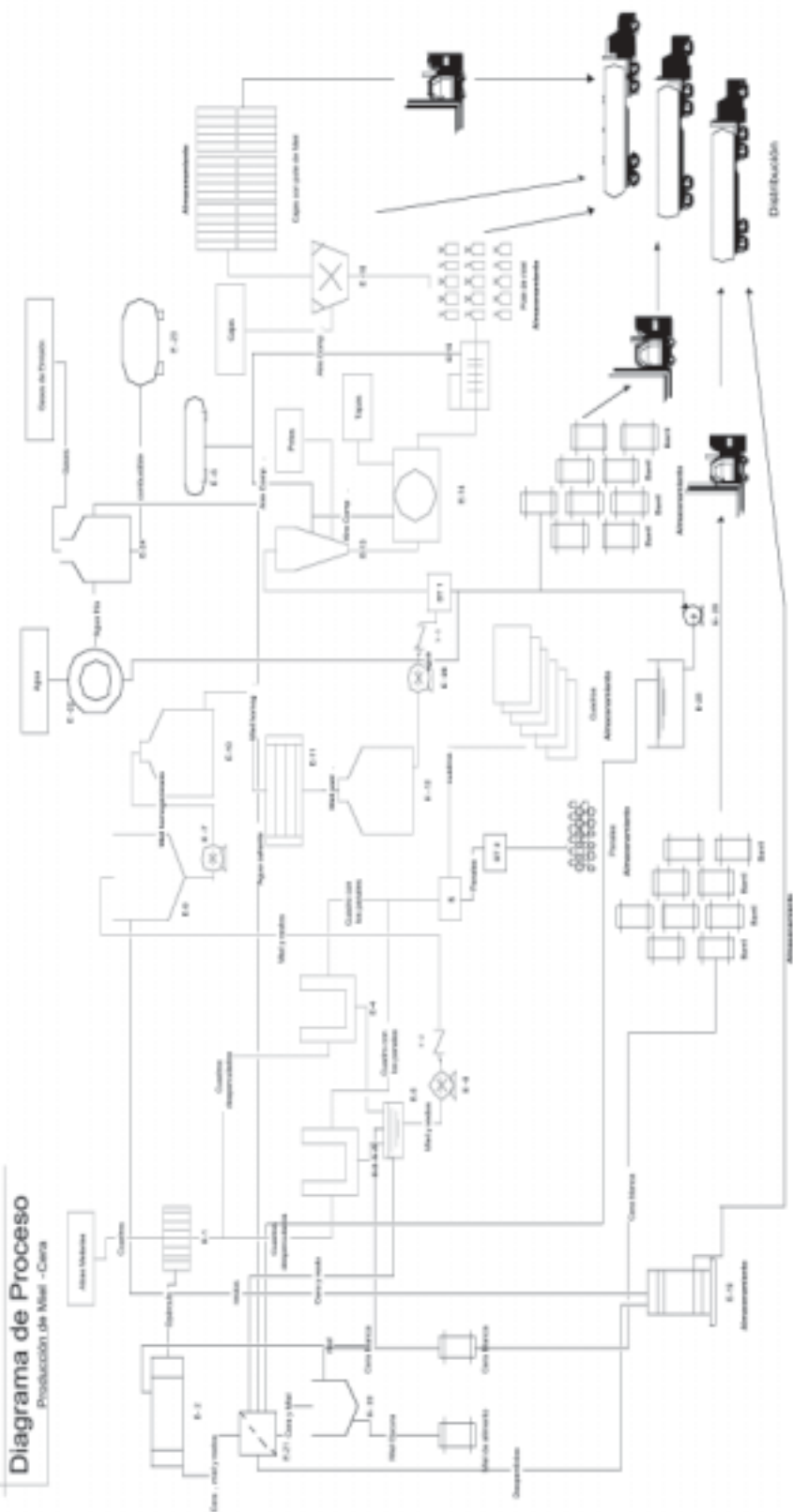
Posteriormente la miel homogenizada se conduce a 2 tanques de 3000Kg. cada uno (Equipo E-10), mediante una bomba de igual dimensión a la anteriormente descrita (Equipo E-7). Cuando al homogeneizador le resta una hora para ser llenado nuevamente, la miel que se encuentra en los tanques de miel homogenizada se conduce a una pasteurizadora (Equipo E-11), que la somete a un choque térmico elevado (78-82°) de duración reducida, 2-3 minutos, que destruye la mayor parte de las estructuras cristalinas iniciales que favorecen total o parcialmente la cristalización de la miel, permitiendo que ésta permanezca líquida durante un tiempo más prolongado. Si bien la necesidad de la planta es de 288 Kg/hr (144 cuadros/horas\* 2kg./cuadro) en el mercado interno la capacidad mínima de una pasteurizadora automática es de 1000 Kg/hr.

Luego esta miel se conduce a los tanques de miel pasteurizada (Equipo E-12) mediante una bomba que viene incorporada con la misma. Los tanques son 4 y su capacidad es de 6000 Kg cada uno. Si bien tienen una mayor capacidad que los tanques de miel homogenizada, la miel no presentará el inconveniente de cristalización ya que se encuentra pasteurizada por lo que va a tardar más en solidificar.

Por último la miel que ha sido homogenizada y pasteurizada se somete al proceso de envasado (Equipo E-13), tapado (Equipo E-14) y etiquetado (Equipo E-15). Estos equipos operan de forma integrada y están provistos del compresor necesario (Equipo E-6). Los envases serán de uso exclusivo y único, y los mismos serán de 1Kg, 500gr y 250gr. A su vez serán empaquetados en forma manual (E-16) en cajas de cartón, conformando packs de 6, 12 y 24 unidades respectivamente. Se analiza el pack de 6 unidades.

**Tabla N°1:** Resumen Numérico del Proceso

	Condiciones	Elementos de Sistema	Capacidad	
Meses de producción	3	Extractor	40	cuadros
Días hábiles al mes	20	Receptor	1000	Kg
Jornada Laboral (hr)	8	Homogenizadora	6000	Kg
Cantidad Colmenas	2858	Tk Homogenizador	3000	Kg
Rendimiento de la colmena (Kg/año(colmena))	48	Pasteurizadora	1000	Kg/hr
Alzas/colmena	3	Tk Pasteurizador	6000	Kg
Capacidad del Alza (Kg)	16	Empaquetadora	0.5	min/pack
Cuadros por alza	8	Env., Tap., Etq	900	Env/hr
Cantidad de Alzas por día	144			
Cantidad de Camionetas	3			
Cantidad de Extractores	3			
Cantidad de Tk Homogenizadores	2			
Cantidad de Tk Pasteurizadores	4			
Cantidad de envases por Pack	6			



## 2. SIMULACIÓN

### Hipótesis generales

El proceso comienza una vez colocada la primera carga de las tres camionetas, en el almacén de materia prima.

Se consideran, distribuciones de tiempo fijo para todos los procesos, basados en las velocidades de los equipos. El tiempo de traslado está considerado en los tiempos de cada etapa del proceso. Todos los procesos continuos se discretizan a intervalos pequeños en los que cada unidad elemental representa un 1kg. de miel.

El recurso humano no se analiza en esta primera hipótesis.

### Condiciones de balance de línea








Para que comiencen a funcionar los extractores, se necesita acumular 40 cuadros, que es su capacidad. Para que comience a funcionar el homogeneizador, se necesitan acumular 6000 kg. de miel, que es su capacidad. Para que comience a funcionar el pasteurizador, se necesitan acumular 12000 kg. de miel, que es el equivalente a la capacidad de los dos tanques de miel homogeneizada más la capacidad del homogeneizador. Para que comience la etapa de envasado, se necesitan acumular 24000 kg. de miel, que es la capacidad de los cuatro tanques de miel pasteurizada de 6000 kg. cada uno.

### Modelo planteado

Por medio del programa de simulación Simul8 tenemos el siguiente modelo:


















Los distintos elementos que participan en el programa de simulación:

- Work entry Point  Genera arribos al sistema
- Storage Area  Almacenamiento de elementos temporales
- Work Center  Área de trabajo
- Work exit Point  Salida de los elementos del sistema
- Resource  Recursos
- Drawing modo  Conector entre los distintos elementos
- Route arrows  Ruta del procesos

Los elementos de la simulación se pueden modificar de acuerdo a la necesidad de proceso, cambiando las figuras, como se ve en la descripción de cada elemento

## Descripción de cada elemento

Figura	Elementos	Nombre	Arribos	Distribución	Descripción o función
	Work entry Point	Camioneta	480 min/Carga	Fija	Recolección de las alzas
	Work Center	Separador de Carga			Separa la carga en 48 alzas
	Work Center	Desamblador de Alzas		Fija	Por cada alza tenemos 8 cuadros de miel y una alza vacías
	Work Center	Desperculador	0.0025 min/Cuadro	Fija	Corta los panales que están tapados para su mejor extracción
	Work Center	Extractor	1.5 min/cuadro	Fija	Antes de comenzar el proceso de extracción tenemos que juntar 40 cuadros
	Work Center	Ensamblaje			Ensambla 8 cuadro vacio con 1 alza vacías
	Storage Area	Receptor			Capacidad para 1000 Kg
	Work Center	Homogenizador	0.00083 min/kg.	Fija	Capacidad de 6000 kg.
	Storage Area	TK Homog.			Dos tanques de 3000Kg.
	Work Center	Pasteurizador	0.001 min/Kg.	Fija	Capacidad de 1000Kg/hr
	Storage Area	TK Pasteur.			Cuatro TK de 6000 Kg.
	Work Center	Envasadora	0.067 min/ Env.	Fija	Capacidad 900 Env/hr.
	Work Center	Tapadora	0.067 min/ Env.	Fija	Capacidad 900 Env/hr.
	Work Center	Etiquetadora	0.067 min/ Env.	Fija	Capacidad 900 Env/hr.
	Work Center	Embalaje	0.5 min/Cuadro	Fija	Capacidad para 6 envases



Los **ítems** son los que se mueven de un elemento de trabajo a otro. En este proceso se trabaja con los siguientes:

	Alza con miel		Alzas Sin cuadros
	Cuadros con miel		Cuadros sin miel
	Alzas con cuadros sin miel		Miel de extracción
	Miel Homogenizada		Miel Pasteurizada
	Envase Vacios		Envase con miel
	Tapa		Envase Tapado
	Etiqueta		Envase Etiquetado
	Caja Vacía		Caja llena

Se utilizan centros de trabajo adicionales, que se encuentran en el modelo para diferentes aplicaciones y que permiten modelar mejor el sistema. Son Work Center adicionales designados con la letra A en la parte superior del dibujo:

- A1** permite que en un centro de trabajo entre una unidad de media y salga otra. En este caso entra un alza con miel y salen del mismo 8 cuadros con miel.
- A2** es para modificar el ítem; en este caso de alzas llenas a alzas vacías.
- A3** cumple una función de acumulación; en este caso acumula 40 cuadros y luego los distribuye a los extractores, de acuerdo a las hipótesis generales de cálculo.
- A4** sirve para cambiar el elemento dinámico de miel extraída a Cuadros vacíos.
- A5** permite el ensamble de cuadros vacíos con las alzas vacías; relación 8/1 respectivamente, luego acumula 20 alzas con sus respectivos cuadros para luego enviar y estibar en el almacén.
- A6** permite acumular 6000 unidades del ítem miel extraída, de acuerdo a la capacidad de la homogenizadora, la que tiene que estar llena para que empiece a funcionar. Tiene además la función de particionar el ítem de entrada en dos ítems de salida.
- A7** tiene la función de acumular 12000Kg de miel homogenizada.
- A8** tiene la función de acumular 24000Kg de miel pasteurizada.

### 3. RESULTADOS

#### Primera Hipótesis

Para las hipótesis generales planteadas, se simularon 28800 min., equivalente a tres meses de producción, y se obtuvieron los siguientes resultados, que evidencian una alta

proporción de tiempo inactivo de los equipos excepto, los extractores que se encuentran funcionando en su máxima capacidad:

Desperculador	Waiting %	98.25568
Extractor A	Waiting %	0.0003
Homogenizador	Waiting %	80.86005
Pasteurizador	Waiting %	72.1381
Envasadora	Waiting %	74.46396
Embalado	Waiting %	69.71696
Extractor A 2	Waiting %	0.0003
Extractor A 3	Waiting %	0.0003

Por esta razón se propone el agregado de un cuarto extractor, de iguales características que los existentes, obteniendo los siguientes resultados.

Desperculador	Waiting %	98.74357
Extractor A	Waiting %	9.95558
Homogenizador	Waiting %	75.62884
Pasteurizador	Waiting %	73.4879
Envasadora	Waiting %	69.91253
Embalado	Waiting %	64.31945
Extractor A 2	Waiting %	9.95558
Extractor A 3	Waiting %	9.95558
Extractor A 4	Waiting %	9.95558

Se puede observar que si bien el tiempo de espera de los equipos disminuye, es en una pequeña proporción, lo cual indica que el problema no se origina en los extractores, sino en el abastecimiento de materias primas al almacén.

## Segunda Hipótesis

Para resolver el problema anterior se propone:

Acumular un mes de alzas ( $2858 \text{ alzas} / 3 \text{ meses} \approx 953 \text{ alzas}$ ), a fin de reducir los tiempos de espera de los equipos. Esto implica la eliminación de los ítems de arribos (camionetas), debido a que las alzas estarán disponibles en el almacén. Al disponer de un mes de alzas acumuladas, se debe modificar la generación de arribos al sistema. En la hipótesis anterior se tenía ( $2858 \text{ colmenas} / 3 \text{ meses} * 48 \text{ kg.} / \text{colmena} * 1 \text{ alza} / 16 \text{ kg.} * 1 \text{ mes} / 20 \text{ días} * 1 \text{ día} / 8 \text{ horas} * 1 \text{ hora} / 60 \text{ min.} = 0.297 \text{ alzas} / \text{minuto}$ ), equivalente a 3.36 minutos/alzas. El mismo se reduce a dos tercios, es decir 0,24 min/alza que salen hacia el desperculador. Esto requiere el agregado de un nuevo extractor por cuestiones de espacio, la cantidad máxima de alzas, antes de ser desambladas, es de 40 alzas.

Dado que el desperculador tiene una capacidad de 400 cuadros/min (0.1 minutos/cuadros) y los cinco extractores tienen una capacidad total 200 cuadros/hora (0.3 minutos/cuadro), es decir la capacidad del desperculador es 2/3 mayor que la de los extractores, será necesario balancear esta etapa, simulando que las 2/3 partes del tiempo el desperculador no funcione,

por lo que se requiere agregar otra condición que restringe el elemento almacén esporádico con 67 cuadros (1/3\*200) como capacidad máxima, entre ambos centros de trabajos.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Desperculador	Waiting %	1.18868
Desperculador	Blocked %	97.96962
Extractor A	Waiting %	0.04351
Homogenizador	Waiting %	65.45964
Pasteurizador	Waiting %	62.55226
Envasadora	Waiting %	61.04042
Embalado	Waiting %	61.23682
Extractor A 2	Waiting %	0.04351
Extractor A 3	Waiting %	0.04351
Extractor A 4	Waiting %	0.04351
Extractor A 5	Waiting %	0.04351

Se observa un mejor aprovechamiento de todos los equipos, excepto el desperculador, que debido a su mayor capacidad está bloqueado o esperando la mayor parte del tiempo, situación que no puede evitarse dado que no existe en el mercado un tamaño menor.

### Tercera Hipótesis

Hasta el momento no se planteó el uso de recurso, pero en la realidad se deberá tenerlo en cuenta. Para esto comenzaremos con 2 recursos, el primero de ellos, compuesto por diez operarios, se encargará de los siguientes procesos:

- Traer las alzas hacia la zona de desperculado
- Sacar los cuadros de las alzas
- Accionar el desperculado
- Retirar los cuadros de miel
- Colocar los cuadros en el extractor
- Accionar el extractor
- Recoger y ensamblar las alzas vacías con los cuadros vacíos
- Accionar las bombas
- Luego empaquetar los envases en las cajas

El recurso 2, compuesto por tres operarios, hará las siguientes actividades:

- Accionar el homogeneizador
- Accionar la pasteurizadora
- Accionar y controlar el envasado, tapado y etiquetado

En este recurso, las maquinarias no requieren que el operario esté antes, para que empiecen a trabajar

Se obtuvieron los siguientes resultados:

		%	operarios	total
Resource 1	Utilización	53.94	10	5.39
Resource 2	Utilización	38.96	3	1.17
			Total de operarios	6.56

Por lo que se requieren 7 operarios, con una utilización del 93,75%.

### Cuarta hipótesis

En las hipótesis anteriores, se trabajó con almacenes ficticios para evitar el bloqueo entre equipos y analizar el funcionamiento del sistema y de los almacenes.

Estimados los tiempos de operación y espera de los equipos, se procede a simular una situación más real eliminando estos almacenes intermedios ficticios, ubicados entre A8 y la envasadora, A7 y la pasteurizadora, A6 y el homogeneizador, A3 y los extractores, A1 y los desperculadores, y A4 y los extractores. Se agrega un elemento artificial (work center) entre A6 y el homogeneizador, que representa la restricción de la capacidad de 6000 kg. del homogeneizador, A6 representa la capacidad del receptor de 2000 kg. Se considera que el almacenaje entre A9 y el homogeneizador tiene una capacidad máxima de 3000 kg. y A9 una capacidad de acumulación de otros 3000 kg., que se consideran para evitar el bloqueo. De la misma manera se plantea para A8, lo que permite acumular 6000 kg., que es la capacidad de los tanques de miel homogeneizada y el almacén subsiguiente tendría una capacidad máxima de acumulación de 18000, que con estos dos ítems cumplirían con los cuatro tanques de 6000 kg.

Del análisis de la tercera hipótesis, surge que la mayor cantidad de mano de obra es utilizada en los extractores, por lo que se propone la colocación de extractores de mayor capacidad (80 cuadros/hora), quedando finalmente el siguiente modelo



Se obtuvieron los siguientes resultados:

Desperculador	Waiting %	0.15	Pasteurizador	Waiting %	11.89
Desperculador	Working %	0.18	Pasteurizador	Working %	86.85
Desperculador	Blocked %	27.28	Pasteurizador	Blocked %	1.26
Extractores	Waiting %	0.09	Envasadora	Waiting %	15.67
Extractores	Working %	27.54	Envasadora	Working %	84.33
Homogenizador	Waiting %	20.55	Embalado	Waiting %	16.10
Homogenizador	Working %	3.17	Embalado	Working %	83.90
Homogenizador	Blocked %	75.84			

		%	Operarios	Total operarios
Resource 1	Utilization %	13.9	10	1.39
Resource 2	Utilization %	84.3	3	2.53
			Total de operarios	3.92

Se observa un mejor funcionamiento conjunto de los equipos estándares, que son los que no permiten variación en su capacidad, y en particular visto en las hipótesis anteriores que el cuello de botella esta en la envasadora, en esta propuesta se observa un mejor rendimiento de la misma, junto con los equipos estándares. Es de destacar la mejor utilización de los recursos humanos, reduciendo de 7 a 4 operarios.

### 4. DISCUSIÓN

En el trabajo se van desarrollando hipótesis, de grado de complejidad creciente, que permiten simular el funcionamiento del proceso de elaboración de miel y contribuir así a completar el estudio de este proyecto, de real factibilidad e importante incidencia económica en la zona. Constituyen los primeros estudios, que se completarán con la simulación de los demás procesos que se realizan en la planta y los correspondientes estudios económicos.

### REFERENCIAS

- Anderson David R.,, Sweeney Dennis J., Williams Thomas A. (1993). *Introducción a los Modelos Cuantitativos para Administración* – Grupo Editorial Iberoamérica,
- Bronson R. (1993). *Investigación de Operaciones* – Ed. Mc Graw Hill.
- Chase, Aquilano, Jacobs (2000). *Administración de producción y operaciones* – 8ª edición. Ed. Mc Graw Hill.
- Gallagher C., Watson H. (1994). *Métodos Cuantitativos para la toma de decisiones en administración* - Ed. Mc Graw Hill
- Hillier y Lieberman. (1997). *Introducción a la Investigación de Operaciones* – Ed. Mc.Graw Hill y software- 6ª edición.

- Kaufmann A. (1979). *Métodos y Modelos de la Investigación de Operaciones* – Ed. C.E.C.S.A.
- Littlechild S.C. and Shuttler M.F., (1991). *Operations Research in Management* – Ed. Prentice Hall.
- Marín, Palma, Lara (1977). *La programación lineal en el proceso de decisión*. Ed. Macchi.
- Mathur-Solow (1996). *Investigación de Operaciones* – Ed. Prentice Hall.
- Miller, D., Schmidt J.W. (1992). *Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones* – Ed. Limusa.
- Sasieni, Yaspan, Friedman (1982). *Investigación de Operaciones* - Ed. Limusa.
- Taha, Hamdy A. (1998). *Investigación de Operaciones, Una introducción* - Ed. Prentice Hall, 6ª edición.
- Thierauf R., Grosse R. (1994). *Toma de decisiones por medio de Investigación de Operaciones* Ed. Limusa.
- Winston W. (1994). *Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos* - Grupo Editorial Iberoamérica - 2ª edición